第46卷 第8期
2023年8月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 8
Aug. 2023

新疆小海子灌区耕地土壤盐渍化特征研究

石 聪[1]， 陈礼瀚[1]， 张怡菲[1]， 何 帅[2,3,4]， 谢海霞[1]

（1. 石河子大学农学院农业资源与环境系，新疆 石河子 832000；2. 新疆农垦科学院农田水利与土壤肥力研究所，新疆 石河子 832000；3. 农业农村部西北绿洲节水农业重点实验室，新疆 石河子 832000；4. 水肥资源高效利用兵团重点实验室，新疆 石河子 832000）

摘 要： 以第三师小海子灌区为研究对象，于2021年4月分层采集土壤样品324份，测定总盐、8大离子和pH值，采用描述性统计、显著性检验与空间插值等方法分析灌区土壤盐分含量以及分布规律。结果表明：(1) 小海子灌区土壤受到不同程度盐渍化的危害，土壤总盐及各盐基离子在空间上分布极不均匀，盐分分布大体呈现出西南低、东北高的规律，土壤盐渍化危害最严重的区域为51团和53团。(2) 研究区以氯化物硫酸盐盐化土壤为主，分布在51团、44团大部分区域以及50团、53团的部分区域；44团、50团及51团交界处分布有硫酸盐盐化土壤，49团大部分区域为氯化物盐化土壤。(3) 研究区表层分布面积最广的为中度盐渍化土壤，其次为轻度盐渍化土壤；重度盐渍化土壤集中分布于51团、44团中部和50团与53团交界处。20~40 cm土层分布面积最大的为轻度盐渍化土壤，其次为中度盐渍化和非盐渍化土壤。研究结果通过明确区域内土壤盐分特征、盐分类型和盐渍化程度，为今后通过不断完善当地灌溉排水管理体系，有针对性地治理土壤盐渍化提供理论依据和数据支撑。

关 键 词： 土壤盐渍化；小海子灌区；描述性统计；克里金插值

文章编号： 1000－6060(2023)08－1314－10(1314～1323)

干旱地区存在降雨量少、蒸发量大的现象，导致不同程度的土壤盐渍化问题，从而对农业生产产生负面影响，土壤盐渍化已成为这类地区产生的典型问题[1-2]。土壤盐渍化不只是地理位置上的局限性问题，它同时也是许多国家要解决的资源和生态问题[3]。我国受到盐渍化危害的土地面积大，分布范围广，同时在东北、华北、西北内陆等地区还集中存在着大面积的潜在盐渍化土壤[4]。其中新疆是我国受盐碱威胁最严重的省份，也是全国最大的盐渍土壤分布地区。据调查，新疆耕地总面积达5.08×10^6 hm^2，其中受到盐渍化危害的耕地占总面积的32.07%[5-6]。而地处于天山与昆仑山之间的新疆南部地区由于独特地质以及气候条件受到的危害更为严重，新疆南部“五地州”盐碱地面积占总耕地面积的41.21%，远高于全疆盐渍化土地平均值[7]。同时，由于土地开发力度的加大和土地利用方式的改变，使新疆盐渍化土壤的类型、数量、分布等因素发生了变化，这些问题严重威胁到了新疆农业的可持续发展[8]。研究土壤盐渍化的过程中，土壤盐分特征研究具有重要的意义，它是水文地质条件研究中的重要内容之一[9]。蒋磊等[10]以新疆塔里木灌区为例进行土壤盐渍化易发性评价，结果显示：土壤盐渍化的高易发区主要为槽型、封闭洼地等区域，中等易发区为农田周围的弃耕地，低易发区为灌区周围的水域以及沙漠。梁萌等[11]以新疆准噶尔盆地未开垦盐碱土为研究对象得出该地区以硫酸盐氯化物盐土、硫酸盐盐土为主。中、重度硫酸盐氯化物盐土、硫酸盐盐土以链状或条带状集中分布在昌

收稿日期： 2023-01-04； **修订日期：** 2023-03-10
基金项目： 兵团财政科技计划项目(2021AB009)；石河子大学高层次人才项目(RCZK201926)资助
作者简介： 石聪(1999-)，男，硕士研究生，主要从事土壤资源利用等方面的研究. E-mail: 1308340156@qq.com
通讯作者： 何帅(1976-)，男，硕士，副研究员，主要从事节水农业和土壤改良等方面的研究. E-mail: xjshzhs@163.com

吉回族自治州、博尔塔拉蒙古自治州；宋梦洁等[12]进行博斯腾湖地区土壤盐分特征研究，得到该区域均呈碱性的轻度盐渍化土壤，并进一步分析了该区域盐分特征因子、影响因素等；代云豪等[13]以阿拉尔垦区为研究区通过建立模型进行土壤盐渍化遥感监测分析结果显示：近10 a该区域土壤盐渍化程度在北部和南部明显好转，中东部地区有所加重，从整体上来看得到了较好的改善；刘迁迁等[14]以察南灌区土壤为研究对象，得到K^+、Cl^-和HCO_3^-为该区域土壤盐分的主导因子，对土壤pH影响最强的为HCO_3^-；对盐基离子进行定性分析得到各主导因子的影响因素结果显示：HCO_3^-和pH受河流和地下水综合影响，其余各离子主要受河流影响。摸清新疆盐渍化土壤分布情况、盐渍化程度及盐分类型，对探索适宜新疆盐渍化农田高效治理模式，促进新疆经济社会发展具有重要意义[15]。

新疆生产建设兵团第三师地处塔里木盆地西北边缘，垦区内大部分团场都分布在叶尔羌河下游、塔克拉玛干沙漠边缘。第三师自成立以来，由于受自然条件和生产过程中灌排设施不完善等因素的影响，致使一些团场出现不同程度的土壤次生盐渍化，制约了垦区社会经济的进一步发展[16]。而针对该区域土壤盐渍化特征及类型的研究极少，因此本文以第三师小海子灌区为研究区域，通过分层采集土壤样品，测定土壤总盐、盐基离子组成和pH值，揭示研究区耕地土壤盐渍化特征，明确小海子灌区各团场土壤盐渍化程度以及各盐分离子分布，为该地区后续农业生产和盐渍化土壤改良与利用提供理论依据。

1　研究区概况

小海子灌区（78°47′~79°34′E，39°36′~40°04′N）位于新疆生产建设兵团第三师图木舒克市，地处叶尔羌河、喀什噶尔河流域下游，地势西南高东北低，总体较为平坦（海拔高度在1024.19~1075.06 m之间），土壤多为砂质壤土。灌区由44团、49团、50团、51团、53团和小海子水库管理处等单位组成；各团场均位于荒无人烟的塔克拉玛干沙漠西缘，远离海洋、光照充足、热量丰富，年降水量在34.1~38.8 mm之间，年蒸发量在2030.8~3318.26 mm之间，年平均气温11.6 ℃，年平均无霜期212~225 d，属于暖温带极干旱荒漠气候。

2　材料与方法

2.1　样品采集与测定

研究土样采集时间为2021年4月，利用GPS定位，在小海子灌区共设置162个采样点（图1），采样

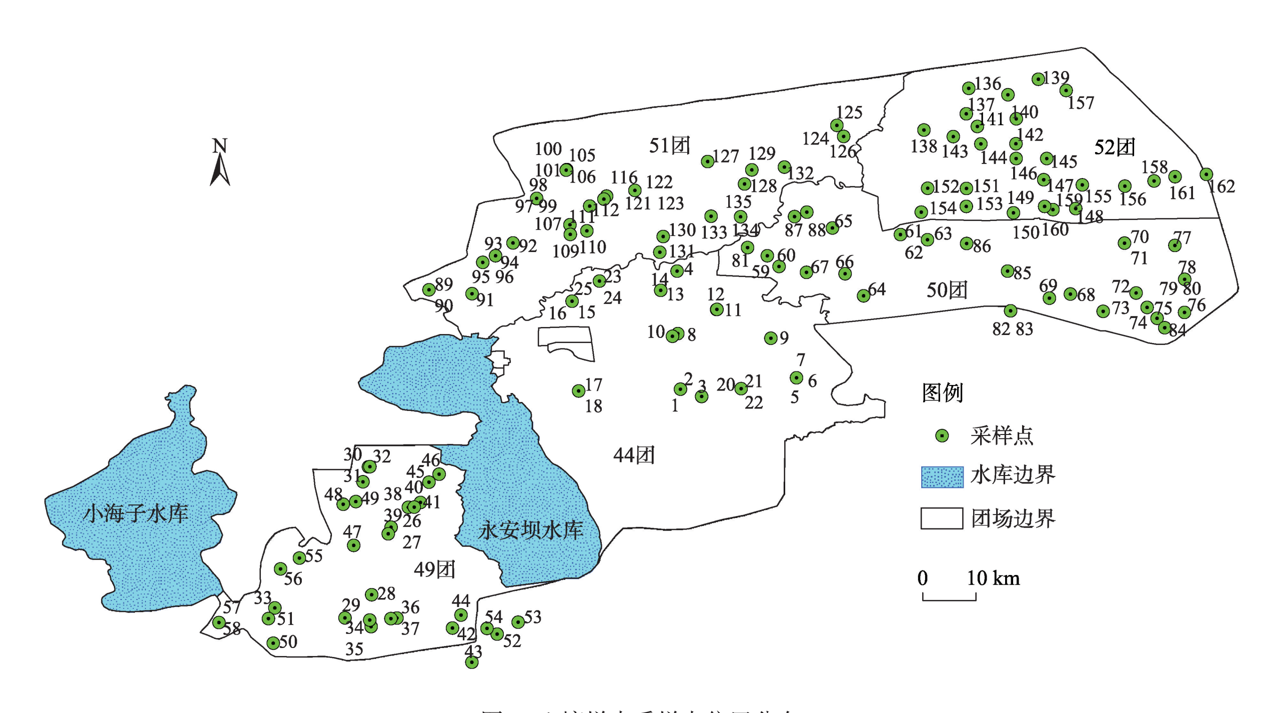


图1　土壤样本采样点位置分布

Fig. 1　Location distribution of soil sample sampling points

点尽可能遍及灌区各种主要的盐渍化类型及土地利用类型(耕地包括棉花、红枣、玉米和梨等经济作物,其他土地主要是弃耕地、盐碱地等)。每个样点分层(0~20 cm、20~40 cm)采集土壤样品,共计324份,将采集的土样分别装入密封袋中并做好标记,带回实验室挑出杂物后进行自然风干、研磨、过筛测定其pH值、盐分及8大离子含量。其中K^+、Na^+用FP640型火焰光度计测定;Ca^{2+}、Mg^{2+}用Z-2000型原子吸收分光光度计测定;SO_4^{2-}用EDTA间接滴定法测定;Cl^-用硝酸银滴定法测定;CO_3^{2-}、HCO_3^-用双指示剂法测定[17];pH(水土比1:1)和电导率(水土比5:1)使用MP521型pH计/电导率仪测定。选择不同电导率区间的36个土壤样品,采用烘干残渣法测定总盐含量,建立土壤电导率(Y, $dS\cdot m^{-1}$)与总盐(X, $g\cdot kg^{-1}$)的函数关系式($Y=0.2445X+0.2557$, $R^2=0.9841$),将其余样品电导率测定值代入此函数式计算各土壤样品的总盐含量。

2.2 数据处理与分析

利用Excel软件对原始数据进行初步筛选处理,采用SPSS 19.0软件分析选项卡下的描述性统计与比较均值功能进行统计特征分析及显著性检验;使用ArcGIS 10.8绘制研究区采样点位置示意图,利用该软件统计分析模块中的克里金插值法对土壤盐渍化类型及各离子空间分布插值图进行制作;文中所涉及各项指标划分范围如下表1~3所示:

表1 变异系数(C_v)划分等级[18]

Tab. 1 Classification of coefficient of variation[18] /%

指标	弱变异性	中等变异性	强变异性
C_v	<10	10~100	>100

表2 土壤酸碱程度分级[19]

Tab. 2 Classification of soil pH[19]

指标	极强酸性	强酸性	酸性	中性	碱性	强碱性	极强碱性
pH	<4.5	4.5~5.5	5.5~6.5	6.5~7.5	7.5~8.5	8.5~9.5	>9.5

表3 土壤盐渍化类型划分标准[20]

Tab. 3 Classification standard of soil salinization types[20]

盐碱化类型	氯化物盐化土壤	硫酸盐氯化物盐化土壤	氯化物硫酸盐盐化土壤	硫酸盐盐化土壤
Cl^-/SO_4^{2-}厘摩尔当量比	>2	1~2	0.2~1	<0.2

3 结果与分析

3.1 小海子灌区耕地土壤盐分特征

为直观反映小海子灌区耕地土壤中盐分变异特征,对各团场不同土层的盐基离子进行描述统计分析(表4)。研究区土壤中的主要盐基离子为K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、Cl^-、HCO_3^-,各土层中均不含CO_3^{2-}(研究区部分采样点Mg^{2+}含量较低,用$g\cdot kg^{-1}$计量时,部分样品差异看不出来,故用$mg\cdot kg^{-1}$计量);阳离子主要为K^+、Na^+、Ca^{2+},阴离子以SO_4^{2-}、Cl^-为主。各团场不同土层中盐分离子极大值与极小值含量差异明显,表明这一区域土壤盐分离子空间分布不均匀。根据变异系数划分等级(表1),研究区整体的总盐量以及K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、Cl^-的变异系数均大于100%,属于强变异性;而HCO_3^-的变异系数处于10%~100%之间,属于中等变异性。

由表4结果可看出小海子灌区耕地土壤pH介于7.79~9.61,其中土壤pH均值最低的为44团0~20 cm土层,最高的为53团0~20 cm土层。根据土壤酸碱程度分级(表2),研究区耕地土壤总体以碱性土为主,部分区域土壤为强碱土。在0~20 cm、20~40 cm土层,pH变异系数均处于2.25%~4.29%之间,土壤pH呈弱变异性,说明灌区耕地土壤酸碱度分布均匀,空间异质性弱。

一般土壤脱盐过程与积盐过程共存,对研究区不同土层各盐分离子及pH进行显著性检验结果如表5所示:表土0~20 cm土层中总盐含量及pH显著高于20~40 cm土层,而其余各盐分离子在两土层之间的差异不显著。

根据盐渍化类型确定标准(表3),以研究区表层土壤中Cl^-/SO_4^{2-}的厘摩尔当量比值来分析土壤盐渍化类型。由图2可以看出,研究区0~20 cm土层以氯化物硫酸盐盐化土壤为主,主要分布在51团、44团大部分区域以及50团、53团的部分区域,这部分占研究区总面积的76.93%;氯化物盐化土壤主要分布于49团、53团与50团边界以及东部靠近塔里木盆地区域,占研究区总面积的3.98%;硫酸盐氯化物盐化土壤围绕分布于氯化物盐化土壤周围,占研究区总面积的10.74%;硫酸盐盐化土壤分布在44团、50团及51团交界处,占研究区总面积的8.35%。在20~40 cm土层内,51团、44团主要为氯

表4　土壤盐分特征统计值（N=154）

Tab. 4　Characteristic statistical value of soil salinity (N=154)

团场	土层/cm	指标	盐分离子含量									pH
			总盐/g·kg^{-1}	K^+/g·kg^{-1}	Na^+/g·kg^{-1}	Ca^{2+}/g·kg^{-1}	Mg^{2+}/mg·kg^{-1}	SO_4^{2-}/g·kg^{-1}	Cl^-/g·kg^{-1}	HCO_3^-/g·kg^{-1}	CO_3^{2-}/g·kg^{-1}	
44团（N=24）	0~20	极小值	0.01	0.02	0.12	0.05	0.00	0.13	0.13	0.15	–	7.94
		极大值	69.23	0.41	9.95	2.20	8.88	20.36	7.91	0.35	–	8.72
		均值	6.29	0.10	0.68	0.63	2.12	2.95	0.83	0.23	–	8.27
		标准差	13.68	0.07	1.98	0.74	3.07	4.15	1.56	0.06	–	0.23
		C_v/%	217.45	73.69	293.05	117.59	145.16	140.53	187.02	25.11	–	2.79
	20~40	极小值	0.30	0.03	0.12	0.03	0.00	0.15	0.10	0.16	–	8.10
		极大值	40.79	0.31	9.95	2.69	8.86	14.70	13.01	0.31	–	9.08
		均值	5.09	0.09	0.66	0.64	2.79	2.35	0.94	0.23	–	8.37
		标准差	8.10	0.06	1.98	0.84	3.39	3.15	2.59	0.04	–	0.26
		C_v/%	159.02	66.21	298.32	129.82	121.69	134.02	274.23	17.97	–	3.09
49团（N=31）	0~20	极小值	0.01	0.03	0.10	0.06	0.00	0.06	0.08	0.07	–	8.24
		极大值	16.11	0.76	5.41	1.82	8.52	2.53	5.04	0.41	–	8.96
		均值	2.65	0.10	0.56	0.19	4.37	0.67	0.77	0.24	–	8.59
		标准差	3.87	0.13	1.08	0.35	3.14	0.66	0.94	0.07	–	0.19
		C_v/%	146.02	127.77	194.19	180.90	71.96	98.92	123.01	28.83	–	2.25
	20~40	极小值	0.20	0.04	0.07	0.03	0.00	0.01	0.04	0.14	–	8.19
		极大值	5.50	0.16	0.45	1.14	8.36	3.04	1.46	0.40	–	9.61
		均值	1.56	0.07	0.29	0.13	4.82	0.59	0.57	0.26	–	8.66
		标准差	1.39	0.03	0.10	0.19	3.07	0.63	0.37	0.07	–	0.27
		C_v/%	88.81	41.03	32.78	154.86	63.74	108.12	66.09	27.76	–	3.12
50团（N=30）	0~20	极小值	0.42	0.03	0.14	0.09	0.00	0.01	0.11	0.15	–	7.89
		极大值	55.91	0.65	9.73	2.43	171.71	8.48	15.32	0.28	–	8.81
		均值	6.26	0.10	0.69	1.10	12.37	3.05	0.92	0.20	–	8.30
		标准差	9.77	0.11	1.78	0.86	41.93	2.26	2.73	0.03	–	0.22
		C_v/%	156.07	103.09	258.34	78.27	339.05	74.11	298.21	17.62	–	2.63
	20~40	极小值	0.86	0.03	0.14	0.10	0.00	0.01	0.08	0.13	–	7.90
		极大值	33.03	0.54	6.60	2.17	162.70	10.65	6.71	0.29	–	8.83
		均值	5.71	0.09	0.51	0.87	6.89	2.97	0.63	0.20	–	8.33
		标准差	5.86	0.09	1.15	0.77	29.50	2.58	1.20	0.04	–	0.25
		C_v/%	102.75	93.90	226.73	89.01	427.89	86.88	190.61	21.63	–	2.99
51团（N=41）	0~20	极小值	0.70	0.04	0.13	0.12	0.00	0.32	0.07	0.06	–	7.79
		极大值	55.19	2.38	8.54	3.22	92.18	16.46	7.77	0.27	–	9.21
		均值	13.23	0.20	1.46	1.88	3.18	5.53	1.45	0.15	–	8.65
		标准差	15.02	0.37	2.30	1.04	14.39	4.00	1.98	0.04	–	0.37
		C_v/%	113.52	186.11	157.45	55.03	452.04	72.34	136.58	27.29	–	4.29
	20~40	极小值	0.32	0.04	0.10	0.07	0.00	0.23	0.01	0.03	–	7.80
		极大值	62.63	2.70	9.41	3.47	8.19	68.20	18.46	0.26	–	9.11
		均值	10.21	0.18	1.19	1.78	0.88	6.24	1.33	0.15	–	8.43
		标准差	12.56	0.42	2.26	1.04	1.80	10.49	3.01	0.05	–	0.29
		C_v/%	123.00	229.16	189.52	58.74	203.43	168.21	226.53	31.66	–	3.46
53团（N=28）	0~20	极小值	0.29	0.03	0.10	0.07	0.00	0.01	0.05	0.12	–	8.06
		极大值	78.43	2.05	10.82	3.50	8.30	13.20	33.15	0.31	–	9.40
		均值	8.70	0.20	0.85	0.92	1.67	2.67	2.73	0.18	–	8.84
		标准差	16.20	0.47	2.12	0.96	2.54	3.24	7.54	0.05	–	0.31
		C_v/%	186.24	229.04	250.60	105.32	151.71	121.48	276.34	28.03	–	3.49
	20~40	极小值	0.60	0.03	0.15	0.07	0.00	0.11	0.07	0.10	–	8.23
		极大值	43.71	1.19	7.35	3.11	21.41	18.66	10.45	0.33	–	9.26
		均值	5.78	0.18	0.84	1.02	2.56	3.14	1.02	0.18	–	8.63
		标准差	7.97	0.30	1.68	1.00	4.49	3.90	2.02	0.05	–	0.28
		C_v/%	137.75	172.23	200.40	98.04	175.33	124.21	198.83	29.60	–	3.27
研究区整体（N=154）	0~20	极小值	0.01	0.02	0.10	0.05	0.00	0.01	0.05	0.06	–	7.79
		极大值	78.43	2.38	10.82	3.50	171.71	20.36	33.15	0.41	–	9.40
		均值	7.84	0.15	0.89	1.02	4.77	3.15	1.34	0.20	–	8.55
		标准差	12.99	0.29	1.93	1.03	20.17	3.53	3.67	0.06	–	0.35
		C_v/%	165.71	197.24	215.68	100.97	422.82	112.33	273.27	30.91	–	4.06
	20~40	极小值	0.20	0.03	0.07	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	–	7.80
		极大值	62.63	2.70	9.95	3.47	162.70	68.20	18.46	0.40	–	9.61
		均值	5.99	0.13	0.73	0.95	3.45	3.29	0.92	0.20	–	8.48
		标准差	8.84	0.26	1.67	1.01	13.33	6.19	2.12	0.07	–	0.30
		C_v/%	147.54	202.01	228.28	106.17	386.51	187.74	229.72	32.88	–	3.54

表5 不同土层各盐基离子显著性检验

Tab. 5 Significance test of base cations in different soil layers

土层/cm	盐分离子含量								pH
	总盐/g·kg^{-1}	K^+/g·kg^{-1}	Na^+/g·kg^{-1}	Ca^{2+}/g·kg^{-1}	Mg^{2+}/mg·kg^{-1}	SO_4^{2-}/g·kg^{-1}	Cl^-/g·kg^{-1}	HCO_3^-/g·kg^{-1}	
0~20	7.837	0.146	0.894	1.018	4.770	3.146	1.344	0.196	8.546
20~40	5.990	0.127	0.731	0.954	3.448	3.295	0.922	0.198	8.483
Sig.(双侧)	0.002**	0.129	0.090	0.098	0.304	0.746	0.092	0.543	0.006**

注:**表示不同土层间差异显著(P<0.05)。

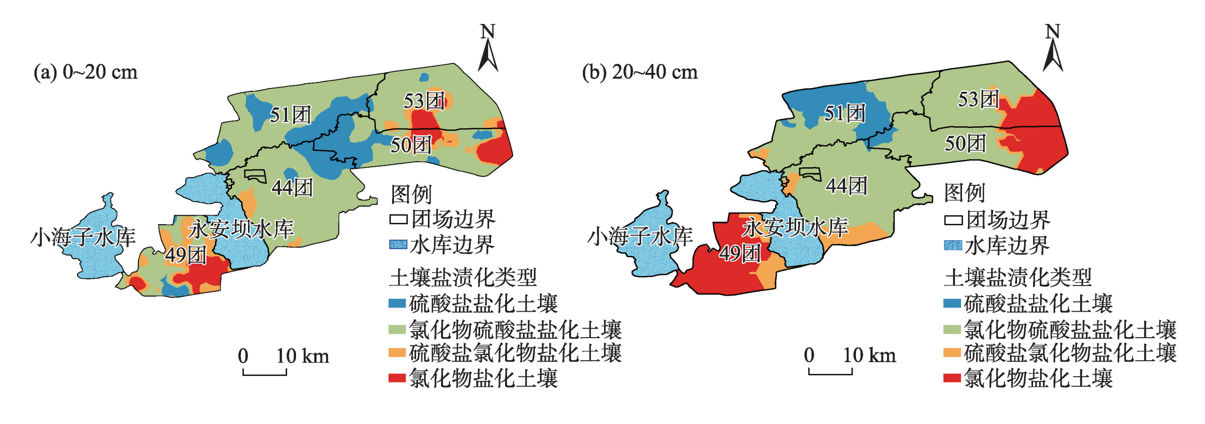


图2 小海子灌区土壤盐渍化类型分布

Fig. 2 Distribution of soil with salinized types in Xiaohaizi Irrigation Area

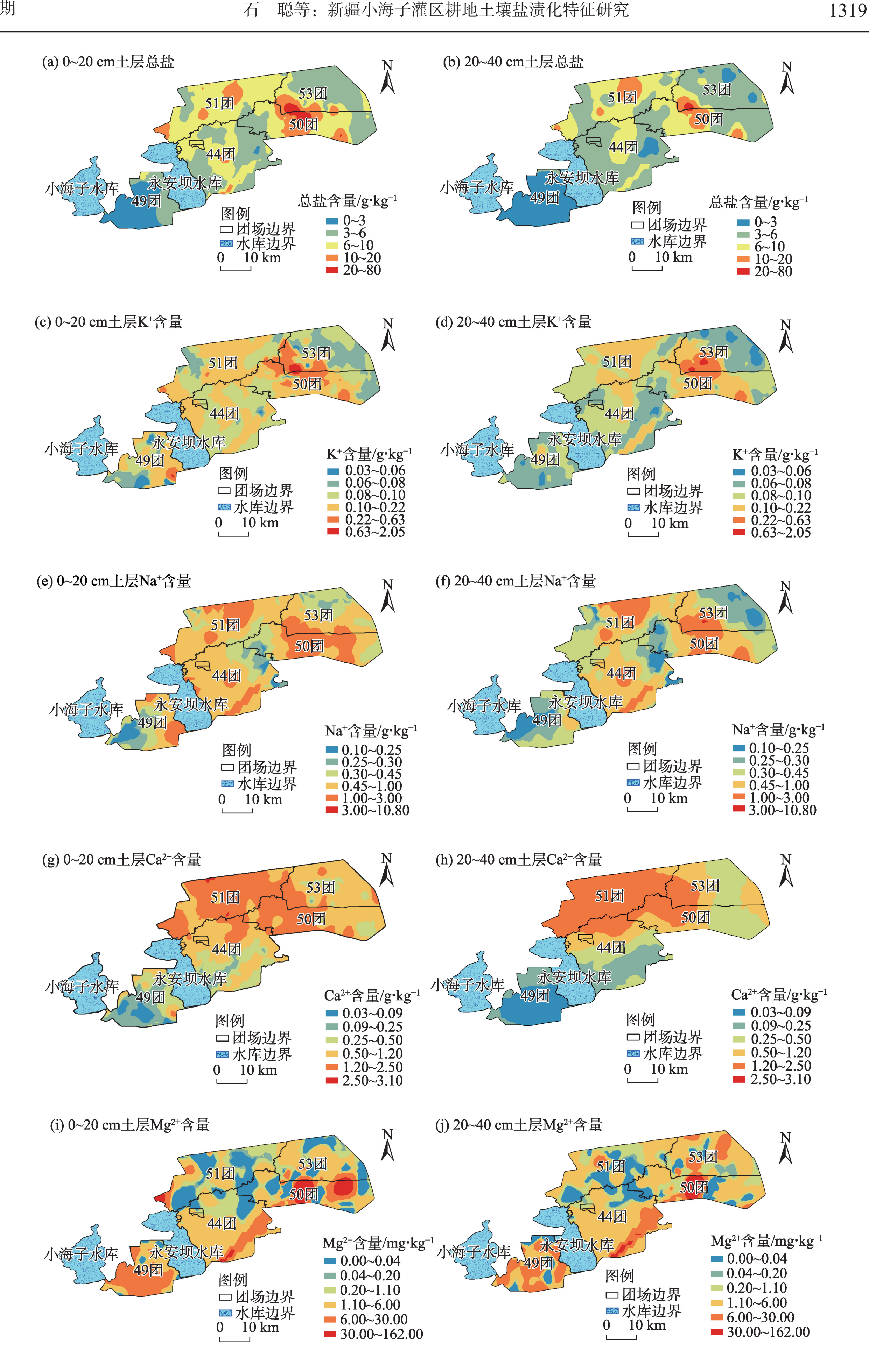
化物硫酸盐盐化土壤,分布一定面积的硫酸盐盐化土壤;49团主要分布氯化物盐化土壤以及部分硫酸盐氯化物盐化土壤;在50团、53团以氯化物硫酸盐盐化土壤为主,在东北部区域分布一定面积的氯化物盐化土壤,同时分布有部分硫酸盐盐化土壤。

3.2 空间插值

土壤盐分含量的空间分布如图3所示,从空间插值结果来看,0~20 cm土层分布面积最大的为含盐量在6~10 g·kg^{-1}的中度盐渍化土壤,占研究区总面积的32.21%,其次为含盐量在3~6 g·kg^{-1}的轻度盐渍化土壤,占研究区总面积的31.66%,这两种类型的土壤主要分布于49团东部以及其余团场大部;土壤盐分含量在0~3 g·kg^{-1}的非盐渍化土壤主要分布于49团,占研究区总面积的14.76%;而土壤盐分含量在10~20 g·kg^{-1}的重度盐渍化土壤以及高于20 g·kg^{-1}的盐土面积分别占研究区总面积的20.75%和0.12%,集中分布于51团、44团中部和50团与53团交界处。20~40 cm土层分布面积最大的为轻度盐渍化土壤,占研究区总面积的39.06%,其次为中度盐渍化和非盐渍化土壤,分别占研究区总面积的32.65%和25.33%,该土层的重度盐渍化和盐土的分布面积分别占研究区总面积的2.84%和0.12%。相比于表层土壤,20~40 cm土层的非盐渍化土壤和轻度盐渍化土壤分布面积有所增加,而重度盐渍化土壤和盐土的分布面积有所减少。K^+、Na^+、Ca^{2+}、SO_4^{2-}和Cl^-的分布规律与总盐类似,Mg^{2+}主要在44团西南部、50团和51团西部含量较高,49团含量次之,其余各区域Mg^{2+}含量均较低。而HCO_3^-含量最高的区域主要分布在44团和49团。除HCO_3^-外,总盐与其余各盐基离子均存在0~20 cm含量高于20~40 cm土层的规律。从整体来看,研究区盐分分布大体呈现出西南低、东北高的规律,这可能与南部靠近两大水库与叶尔羌河流域,不同区域地下水分布深浅及矿化度高低有关。

3.3 防治措施

研究区由于存在强烈的表层蒸发积盐现象,因此可通过冬春灌等措施来降低上层土壤的盐分,使得耕作层土壤中的盐分处于较低的水平,以减轻对农作物春季出苗的胁迫;在中度和轻度盐渍化应尽量使用两大水库的淡水灌溉,在农业用水高峰期时可以采用微咸水混合水库淡水进行灌溉的措施,尽量避免使用咸水灌溉。使用大水压盐、洗盐等措施的同时应做好明沟、暗沟、竖井等排水措施的防渗工作,防止洗盐水下渗进入地下水,抬高地下水位


(a) 0~20 cm土层总盐
(b) 20~40 cm土层总盐
51团
53团
50团
44团
永安坝水库
小海子水库
49团
N
图例
团场边界
水库边界
0 10 km
总盐含量/g·kg⁻¹
0~3
3~6
6~10
10~20
20~80
(c) 0~20 cm土层K⁺含量
(d) 20~40 cm土层K⁺含量
K⁺含量/g·kg⁻¹
0.03~0.06
0.06~0.08
0.08~0.10
0.10~0.22
0.22~0.63
0.63~2.05
(e) 0~20 cm土层Na⁺含量
(f) 20~40 cm土层Na⁺含量
Na⁺含量/g·kg⁻¹
0.10~0.25
0.25~0.30
0.30~0.45
0.45~1.00
1.00~3.00
3.00~10.80
(g) 0~20 cm土层Ca²⁺含量
(h) 20~40 cm土层Ca²⁺含量
Ca²⁺含量/g·kg⁻¹
0.03~0.09
0.09~0.25
0.25~0.50
0.50~1.20
1.20~2.50
2.50~3.10
(i) 0~20 cm土层Mg²⁺含量
(j) 20~40 cm土层Mg²⁺含量
Mg²⁺含量/mg·kg⁻¹
0.00~0.04
0.04~0.20
0.20~1.10
1.10~6.00
6.00~30.00
30.00~162.00

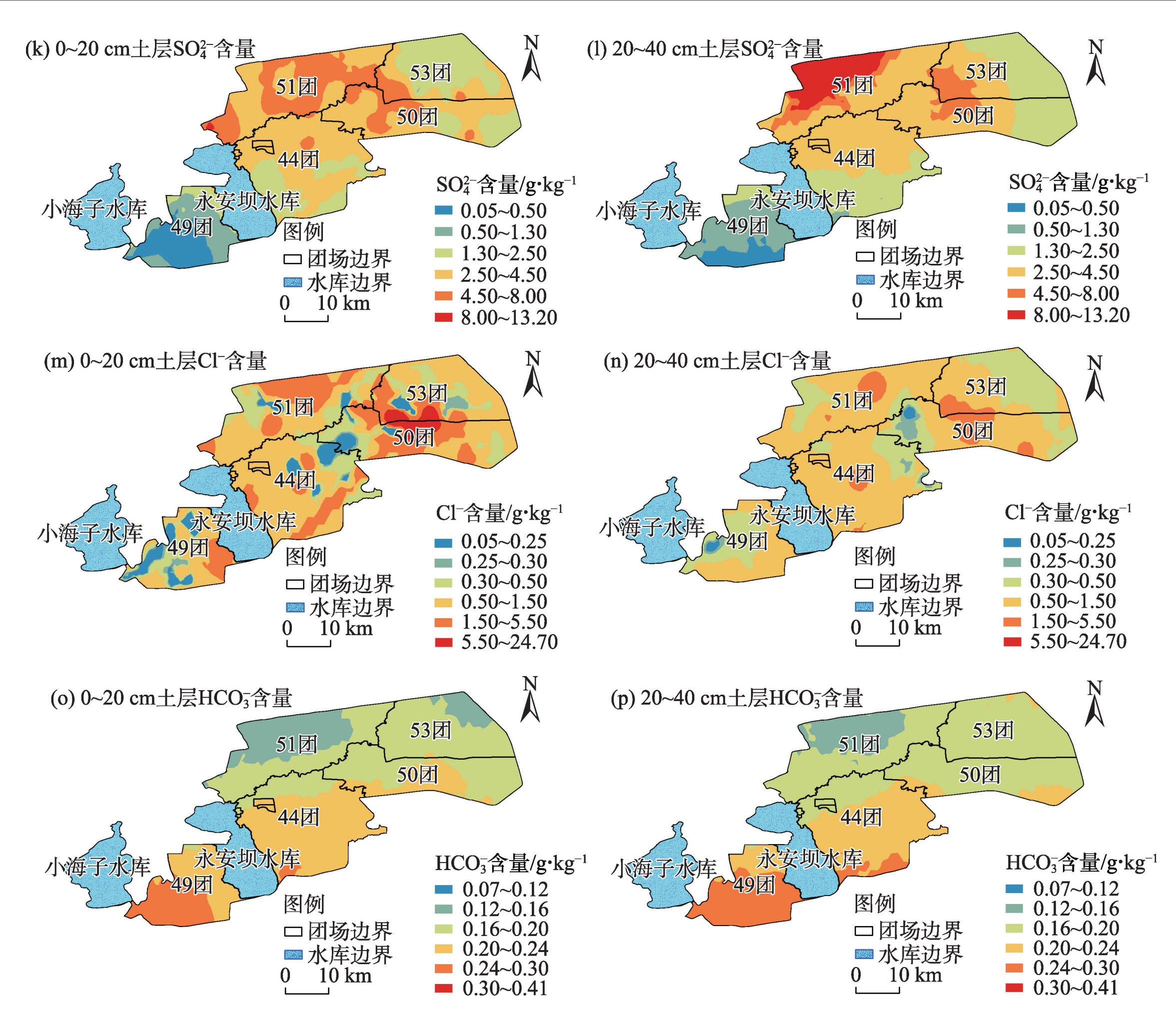


图3 小海子灌区土壤盐分因子空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of soil salinity factors in Xiaohaizi Irrigation Area

而导致次生盐渍化的发生。另外还可以通过平整土地，精耕深翻等农业措施来减轻盐渍化对农业生产的危害。

4 讨 论

经过对研究区进行克里金插值处理分析，得到研究区土壤盐渍化类型与各盐分离子的空间分布状况。由盐渍化类型插值图可以看出研究区表层土壤盐渍化类型以氯化物硫酸盐盐化土壤为主，主要分布在51团、44团大部分区域以及50团、53团的部分区域；其次是硫酸盐盐化土壤，集中分布在44团、50团及51团交界处。与表层类型分布不同的是，在20~40 cm土壤盐渍化类型分布面积处于第二的为氯化物盐化土壤，主要分布在49团大部以及50团、53团东部。研究区内土壤盐渍化较为严重的区域为51团、53团与50团交接区域以及44团中部。土壤盐渍化分布呈现以上结果与该区域的地势以及地下水盐分含量、水域分布、环境气候等因素息息相关。

研究区地势西南高、东北低，地处叶尔羌河、喀什噶尔河两大流域中下游，河水自西向东流过，南部靠近两大水库，整体的地下水埋深由南向北逐渐加深，由靠近水域不到1 m增加到南部的3~6 m，直到最北部的大于10 m[21]。杨鹏通过对图木舒克市65组水质进行研究得到：小海子水库和永安坝水库的地表水矿化度为0.56~0.74 g·L^{-1}，均属于淡水；研究区整体地下水平均矿化度为4.15 g·L^{-1}，已经达到咸水范围。仅在49团范围内的地下水存在少量淡水分布，地下水咸水比重为58%，50团地下水水质相对较好，以微咸水为主，44团和53团地下水水质较差，咸水比重分别为71.4%和63.6%，51团地下水水质最差，地下水咸水比重可达91.7%[22]，在此基

础上受到暖温带极端干旱气候强烈土面蒸发的影响，地下水中可溶性盐沿着土壤毛管孔隙在土壤中表聚，同时受到地形、农业灌排水等多方面因素共同作用[23]。研究区盐分分布总体呈现出西南低、东北高的趋势，表现出随着海拔高度的降低、地下水矿化度的增大导致土壤盐渍化危害更为严重的规律。

小海子灌区耕地土壤表层含盐量较高，经过描述性统计分析，总盐及各盐基离子在空间上分布极不均匀，空间异质性均处于较强或中等变异性，这可能与地下水分布、地下水位以及人工水渠有关。对不同土壤层次盐分统计值进行显著性检验结果显示，0~20 cm土层的土壤总盐含量和pH显著高于20~40 cm土层，这也符合研究区域低降水量、高蒸发量所导致的盐分表聚现象[24]。而HCO_3^-可能是由于不稳定的化学性质所导致，HCO_3^-在浅层土壤中易于转换成为CO_3^{2-}，与阳离子结合为无法用水溶液浸提的$CaCO_3$与$MgCO_3$沉淀，因此出现表层略低于下层的现象。张杰对叶尔羌河流域地表水主要组分浓度进行测定得到：水库水中主要阳离子平均值最高的为K^++Na^+，其次是Ca^{2+}，含量最少的是Mg^{2+}；主要阴离子平均值由高到低依次为SO_4^{2-}、Cl^-、HCO_3^-[25]。这与土壤中盐基离子含量规律基本一致。

5　结　论

（1）小海子灌区土壤受到不同程度盐渍化的危害，土壤总盐及各盐基离子在空间上分布极不均匀。从整体来看，研究区盐分分布大体呈现出西南低、东北高的规律，受土壤盐渍化危害最轻的为49团，危害最严重的区域为51团和53团，且表层土壤总盐含量与pH显著高于20~40 cm土层。

（2）研究区以氯化物硫酸盐盐化土壤为主，分布在51团、44团大部分区域以及50团、53团的部分区域；44团、50团及51团交界处分布有硫酸盐盐化土壤，49团大部分区域为氯化物盐化土壤。

（3）研究区表层分布面积最广的为中度盐渍化土壤，其次为轻度盐渍化土壤；重度盐渍化土壤面积占研究区总面积的20.75%，集中分布于51团、44团中部和50团与53团交界处。20~40 cm土层分布面积最大的为轻度盐渍化土壤，其次为中度盐渍化和非盐渍化土壤；相比于表层土壤，20~40 cm土层的非盐渍化土壤和轻度盐渍化土壤分布面积有所增加，而重度盐渍化土壤和盐土的分布面积有所减少。

参考文献（References）

[1] Abuelgasim A, Ammad R. Mapping soil salinity in arid and semi-arid regions using Landsat 8 OLI satellite data: ScienceDirect[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2019, 13: 415–425.

[2] Kumar N, Singh S K, Pandey H K. Drainage morphometric analysis using open access earth observation datasets in a drought-affected part of Bundelkhand, India[J]. Applied Geomatics, 2018, 10(2): 1–17.

[3] 商振芳, 谢思绮, 罗旺, 等. 我国盐碱地现状及其改良技术研究进展[C]//中国环境科学学会. 2019中国环境科学学会科学技术年会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2019: 386–395. [Shang Zhenfang, Xie Siqi, Luo Wang, et al. Research progress on present situation and improvement technology of saline-alkali land in China[C]//Chinese Society for Environmental Sciences. Proceedings of 2019 Annual Conference of Science and Technology, Chinese Society for Environmental Sciences. Beijing: China Environment Publishing Group, 2019: 386–395.]

[4] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837–845. [Yang Jingsong. Development and prospect of the research on salt-affected soils in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 837–845.]

[5] 樊自立, 乔木, 徐海量, 等. 合理开发利用地下水是新疆盐渍化耕地改良的重要途径[J]. 干旱区研究, 2011, 28(5): 737–743. [Fan Zili, Qiao Mu, Xu Hailiang, et al. Rational groundwater exploitation and utilization, an important approach of improving salinized farmland in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(5): 737–743.]

[6] 李和平, 田长彦, 乔木. 新疆耕地盐渍土遥感信息解译标志及指标探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 218–223. [Li Heping, Tian Changyan, Qiao Mu. On remote sensing data interpretation key and index of saline soil of arable land in Xinjiang[J]. Agricultural Research in the Arid Area, 2009, 27(2): 218–223.]

[7] 胡明芳, 田长彦, 赵振勇, 等. 新疆盐碱地成因及改良措施研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(10): 111–117. [Hu Mingfang, Tian Changyan, Zhao Zhenyong, et al. Salinization causes and research progress of technologies improving saline-alkali soil in Xinjiang[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2012, 40(10): 111–117.]

[8] 王兴鹏. 冬春灌对南疆土壤水盐动态和棉花生长的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018. [Wang Xingpeng. Effects of winter-spring irrigation on soil water-salt dynamics and cotton growth[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.]

[9] 李杰彪, 苏锐, 周志超, 等. 甘肃北山沙枣园地区土壤表层盐分特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(9): 115–120. [Li

Jiebiao, Su Sui, Zhou Zhichao, et al. Analysis on characteristics of soil salinity in Shazaoyuan site of Gansu Beishan region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(9): 115-120.]

[10] 蒋磊, 刘小龙, 郭帅, 等. 基于Logistic回归分析的土壤盐渍化易发性评价——以新疆南疆塔里木灌区为例[J/OL]. [2023-06-10]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1103.X.20230406.1813.002.html. [Jiang Lei, Liu Xiaolong, Guo Shuai, et al. Evaluation of soil salinization susceptibility based on Logistic regression analysis: A case of Tarim irrigation area in southern Xinjiang[J/OL]. [2023-06-10]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1103.X.20230406.1813.002.html.]

[11] 梁萌, 米晓军, 李晨华, 等. 新疆准噶尔盆地未开垦盐碱土盐分与盐生植被多样性分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 185-196. [Liang Meng, Mi Xiaojun, Li Chenhua, et al. Salinity characteristics and halophytic vegetation diversity of uncultivated saline-alkali soil in Junggar Basin, Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 185-196.]

[12] 宋梦洁, 李新国, 刘彬. 博斯腾湖西岸湖滨绿洲芦苇地土壤特征分析[J]. 西北农业学报, 2016, 25(3): 435-441. [Song Mengjie, Li Xinguo, Liu Bin. Soil characteristics analysis of *Phragmites australis* land in the west lakeside oasis of Boston Lake[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2016, 25(3): 435-441.]

[13] 代云豪, 管瑶, 张钦凯, 等. 阿拉尔垦区土壤盐渍化遥感监测及时空特征分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(4): 1176-1185. [Dai Yunhao, Guan Yao, Zhang Qinkai, et al. Remote sensing monitoring and temporal and spatial characteristics of soil salinization in Aral Reclamation Area[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(4): 1176-1185.]

[14] 刘迁迁, 苏里坦, 刘广明, 等. 新疆伊犁察南灌区土壤盐分特征[J]. 土壤, 2017, 49(5): 1001-1006. [Liu Qianqian, Sulitan, Liu Guangming, et al. Characteristics of soil salinity in Chanan Irrigation Area, Ili of Xinjiang[J]. Soils, 2017, 49(5): 1001-1006.]

[15] 塔吉姑丽·达吾提. 南疆垦区土壤盐渍化特征及不同管径和间距暗管排盐效果研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2020. [Dawuti Tajiguly. Study on the characteristics of soil salinization and the effect of different pipe diameters and spacing of underground pipes on salt removal in south Xinjiang reclamation area[D]. Aral: Tarim University, 2020.]

[16] 于梅. 浅谈新疆兵团农三师盐碱地现状及改良方案[J]. 水利建设与管理, 2011, 31(4): 77-78. [Yu Mei. Discuss the present situation and improvement scheme of saline-alkali land in the third agricultural division of Xinjiang Corps[J]. Water Conservancy Construction and Managemen, 2011, 31(4): 77-78.]

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 188-198. [Bao Shidan. Soil agrochemical analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 188-198.]

[18] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, 等. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985, 30(9): 10-21. [Lei Zhidong, Yang Shixiu, Xu Zhirong, et al. Preliminary investigation of the spatial variability of soil properties[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1985, 30(9): 10-21.]

[19] 伍正菊. 永胜县土壤酸碱度状况与养分有效性研究[J]. 新农村, 2014(6): 34. [Wu Zhengju. Study on soil pH and nutrient availability in Yongsheng County[J]. New Countryside, 2014(6): 34.]

[20] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983. [Specialized Committee of Agricultural Chemistry, Soil Science Society of China. Conventional analytical methods of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: Science Press, 1983.]

[21] 朱冬冬. 图木舒克市地下水动态监测与分析[J]. 新疆有色金属, 2021, 44(1): 14-15. [Zhu Dongdong. Dynamic monitoring and analysis of groundwater in Tumuxuk City[J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 2021, 44(1): 14-15.]

[22] 杨鹏, 丁国梁. 新疆图木舒克市地下水矿化度分布特征及成因分析[J]. 地下水, 2017, 39(3): 252-254. [Yang Peng, Ding Guoliang. Distribution characteristics and genesis analysis of groundwater salinity in Tumuxuk City, Xinjiang[J]. Groundwater, 2017, 39(3): 252-254.]

[23] 郑明, 白云岗, 张江辉, 等. 基于主成分分析法的干旱区典型绿洲土壤盐分特征分析——以新疆第二师31团为例[J]. 中国农学通报, 2020, 36(27): 81-87. [Zheng Ming, Bai Yungang, Zhang Jianghui, et al. Soil salinity characteristics of typical oasis in arid area based on principal component analysis: An example in Xinjiang[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(27): 81-87.]

[24] 刘雅清, 王磊, 赵希妮, 等. 宁夏河套灌区典型区域土壤盐碱化空间变异特征[J]. 土壤通报, 2019, 50(6): 1269-1277. [Liu Yaqing, Wang Lei, Zhao Xini, et al. Spatial variability of soil salinization in a typical irrigation district of the Hetao Plain in Ningxia[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2019, 50(6): 1269-1277.]

[25] 张杰. 叶尔羌河流域平原区地下水水质演化及其形成机理研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021. [Zhang Jie. Evolution of groundwater quality and its formation mechanism in plain area of Yarkant River Basin[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.]

Soil salinization characteristics of cultivated land in Xiaohaizi Irrigation Area of Xinjiang

SHI Cong[1], CHEN Lihan[1], ZHANG Yifei[1], HE Shuai[2,3,4], XIE Haixia[1]

(1. Department of Agricultural Resources and Environment, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang, China; 2. Institute of Farmland Water Conservancy and Soil Fertility, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi 832000, Xinjiang, China; 3. Northwest Oasis Water-saving Agriculture Key Laboratory, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Rebublic of China, Shihezi 832000, Xinjiang, China; 4. Key Laboratory of Efficient Utilization of Water and Fertilizer, Xinjiang Production & Construction Corps, Shihezi 832000, Xinjiang, China)

Abstract: This article chooses the Xiaohaizi Irrigation Area of the Third Division of the Xinjiang Production and Construction Corps, Xinjiang, China, as the research object. In April 2021, 324 soil samples were collected in layers (including 0−20 cm and 20−40 cm) to determine the total salt, eight major ions, and pH values. Descriptive statistics, significance testing, and spatial interpolation were used to analyze the soil salt content and distribution characteristics in the irrigation area. The results reveal that: (1) The varying degrees of salinization affect the soil in the Xiaohaizi Irrigation Area, and the distribution of total salt and various base ions in the soil is extremely uneven in space. The salt concentration generally exhibits a low distribution pattern in the southwest and high distribution characteristic in the northeast. The areas with the most severe soil salinization hazards are the 51st and 53rd regiments. (2) The research area is primarily composed of chloride sulfated soil, distributed in main areas of the 51st and 44th regiments and some areas of the 50th and 53rd regiments. Sulfated soil is distributed at the junction of the 44th, 50th, and 51st regiments, whereas chloride saline soil is distributed in the majority of the 49th regiment. (3) Moderately saline soil is the most widely distributed in the surface area of the study area, followed by lightly saline soil. Severely saline soil is concentrated in the 51st regiment, the middle of the 44th regiment, and the junction between the 50th and 53rd regiments. Lightly saline soil is the soil layer with the largest distribution area of 20−40 cm, followed by moderately saline and nonsaline soil. The research results provide theoretical basis and data support for targeted management of soil salinization by clarifying the characteristics, types, and degree of soil salinity within the region and continuously improving the local irrigation and drainage management system in the future.

Key words: soil salinization; Xiaohaizi Irrigation Area; descriptive statistics; Kriging interpolation